



#### Meer informatie

Het eerste artikel in deze serie 'Zijn scheuren zorgwekkend?' is verschenen in Cement 2016/4 en te raadplegen op [www.cementonline.nl](http://www.cementonline.nl). Meer informatie over de in dit artikel beschreven methode staat in [1] en [2].

## Scheurvorming bij metselwerk (2)

# Dilatatieafstanden nader beschouwd

*Scheurvorming in gevelmetselwerk wordt, al dan niet terecht, veelal beschouwd als schade. Om die reden adviseren fabrikanten van bak- of betonstenen en adviesbureaus om de afstand tussen dilatatievoegen vrij klein te houden. Deze angst voor schade, ingegeven door negatieve ervaringen, heeft zijn*

*weerslag gevonden in de regelgeving waarin strenge voorschriften voor de dilatatieafstanden zijn opgenomen. Er is nu een nieuwe methode voor het bepalen van de dilatatieafstand waarbij beperkte scheurvorming wordt toegelaten.*

Momenteel bestaat er geen universeel aanvaarde en wetenschappelijk onderbouwde ontwerpmethodologie om de dilatatieafstand te bepalen bij metselwerkgevels. Dit verklaart de grote variatie in voorschriften die in de verschillende Europese landen van toepassing zijn. Vanuit wetenschappelijk oogpunt kan niet worden verklaard waarom de eisen in buurlanden met vergelijkbare klimatologische omstandigheden als in Nederland, België of Duitsland, zo verschillend zijn. Kleine verschillen zijn alleen te verklaren uit bouwtraditie en andere bouwmethoden. Ook binnen alleen België zijn zowel gebouwen terug te vinden waarbij de dilatatieafstanden heel klein zijn (foto 1) als gebouwen met dilatatieafstanden die meer dan 20 m bedragen (foto 2) en waarbij geen (zichtbare) scheurvorming aanwezig is.

### Voorschriften

In voormalige nationale normen en voorschriften waren ontwerpregels voor dilatatieafstanden opgenomen die sterk van elkaar verschilden. Dit blijkt duidelijk uit een vergelijking tussen de oude Belgische norm (tabel 1) en de Nederlandse CUR-Aanbeveling 82 (tabel 2). Deze regels waren meestal geïnspireerd door specifieke gevallen waarbij de scheurvorming niet noodzakelijk het gevolg was van verhinderde opgelegde vervorming. De ontwerpregels die in Eurocode 6 (EC6) (tabel 3) zijn opgenomen, kunnen worden beschouwd als een compromis waarbij de ondergrens van alle oude nationale voorschriften is aanbevolen (conservatieve waarde).

Tabel 1 Maximale dilatatieafstand voor ongewapend metselwerk volgens de oude Belgische metselwerknorm voor wanddikte kleiner dan 140 mm [3]

steentype	$l_m$ [m]
baksteen	30
kalkzandsteen	8
betonsteen	8
cellenbeton	6

Tabel 2 Maximale dilatatieafstand voor ongewapend metselwerk volgens CUR-Aanbeveling 82 voor ongewapend baksteenmetselwerk [4]

geveltype	$l_m$ [m]
noordgevel	14
overige gevels	12
borstweringen met hoogte h	<5h

Tabel 3 Aanbevolen waarden voor de dilatatieafstanden voor ongewapend metselwerk volgens EC6 [5]

steentype	$l_m$ [m]
baksteen	12
kalkzandsteen	8
betonsteen	6
cellenbeton	6

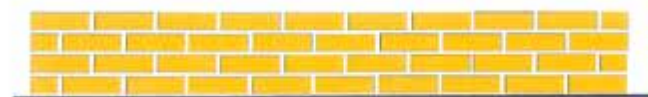
- 1 Kleine dilatatieafstand bij gebouw in Oostende
- 2 Grote dilatatieafstand bij kantoorgebouw in Nazareth met betonsteenlijmwerk
- 3 Opbouw van een gemetselde wand



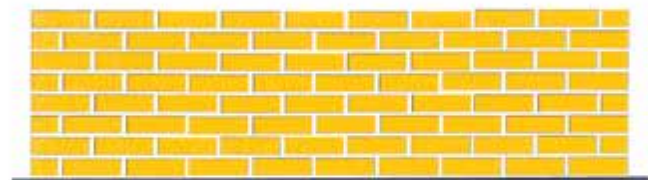
2

### Uitgangspunten

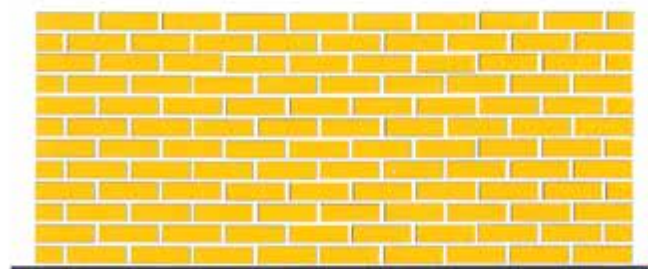
Om te evalueren of al dan niet scheurvorming ontstaat, moet een betrouwbare schatting worden gemaakt van zowel de treksterkte van het metselwerk als de grootte van de opgelegde vervorming, de invloed van de verhinderingen en de stijfheid van het metselwerk. Karakteristiek voor metselwerk is het tijdsgebonden karakter van deze parameters. In tegenstelling tot betonwanden worden gemetselde wanden niet in een heel korte periode gebouwd, maar duurt het meestal enkele dagen voordat de volledige wandhoogte is bereikt (fig. 3). Dit impliceert dat de krimp van de mortel van het eerst gebouwde deel al gedeeltelijk is opgetreden voordat het volgende deel wordt gemetseld.



dag 1



dag 2



dag 3

3

Een tweede verschilpunt met beton betreft de aanwezigheid van voegen in het metselwerk die de zwakste schakel vormen. Hierdoor zullen de scheuren in eerste instantie optreden in deze voegen. Indien het metselwerk enige tijd later wordt opgevoegd, zullen deze scheuren niet meer zichtbaar zijn. Bij lijmwerk met open stootvoegen treden eventuele scheuren steeds op in de lintvoegen. Aangezien lijmwerk niet wordt opgevoegd, zullen deze scheuren in de diepergelegen mortel niet zichtbaar zijn.

**Nieuwe ontwerpmethod**

Er wordt nu een nieuwe ontwerpmethod voorgesteld voor de bepaling van de dilatatieafstanden. Deze method is gebaseerd op praktijkervaringen gecombineerd met onderzoeksresultaten die in de wetenschappelijke literatuur zijn beschreven. De volgende uitgangspunten en aannamen gelden:

- De wanden zijn gemetseld op een starre fundering.
- Scheurvorming wordt aanvaard als normaal verschijnsel bij gevelmetselwerk voor zover de scheurwijdte niet groter is dan 0,3 mm.
- Er wordt aangenomen dat bakstenen niet krimpen en dat de krimp van de mortel gedeeltelijk wordt verhinderd door de stenen.
- Voor metselwerk met betonsteen wordt de krimp van zowel de mortel als van de stenen in rekening gebracht.

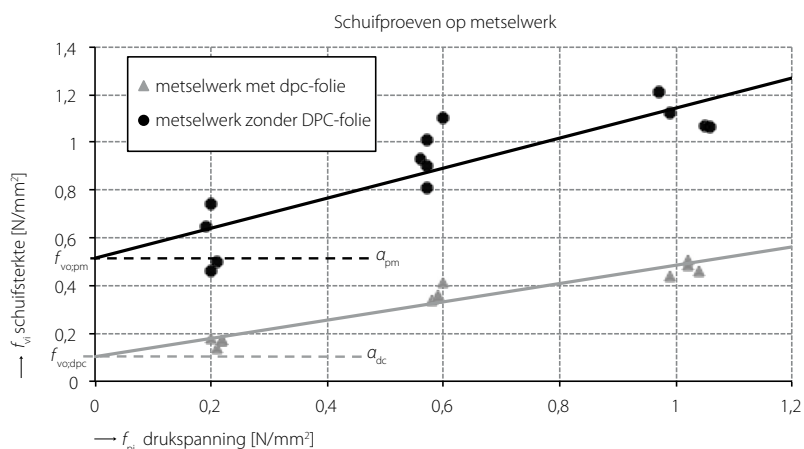
Indien deze randvoorwaarden niet worden gerespecteerd, moeten de voorschriften van EC6 in combinatie met de nationale bijlage worden toegepast.

In de ontwerpmethod worden twee situaties van opgelegde vervorming beschouwd: uitzetting en verkorting. De verlenging van de wand ten gevolge van vochtexpansie en thermische uitzetting moet kleiner zijn dan 60% van de breedte van de dilatatievoeg. Voor de verkorting wordt geëist dat de berekende treksterkte kleiner moet zijn dan de gemiddelde waarde van de treksterkte van het metselwerk, wat impliceert dat beperkte scheurvorming wordt aanvaard. Op basis van praktijkervaring wordt verder aangenomen dat de dilatatieafstand niet kleiner mag zijn dan 1,5 maal de hoogte van de wand en niet groter dan 30 m voor baksteenwanden en 20 m voor betonsteenmetselwerk.

**Aanbevelingen**

De optredende trekspanningen kunnen worden gereduceerd door de verhinderende van de opgelegde vervorming als volgt te beperken:

- vermijd starre verbindingen tussen enerzijds het buitenspouwblad en anderzijds het binnenspouwblad en de raamkozijnen;
- gebruik een vochtscherm (DPC: damp proof course) aan de



DPC-folie	$f_{vo}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tan \alpha$ [-]	trend line $f_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{vko}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tan \alpha_k$ [-]
nee	0,51	0,63	$0,51 + 0,63f_{pi}$	0,41	0,50
ja	0,10	0,38	$0,10 + 0,38f_{pi}$	0,08	0,31

**4**

voet van de wand waardoor een lagere wrijving wordt verkregen tussen gevelmetselwerk en fundering (fig. 4);

- vermijd verhinderende van de vervorming aan meer dan één rand;
- respecteer een minimumtijdspanne tussen metselen en opvoegen;
- voorzie een voldoende brede dilatatievoeg;
- streef naar een hoge verhouding tussen wandhoogte en -lengte (aspect ratio);
- gebruik mortel met geringe stijfheid in combinatie met voldoende hechtsterkte zoals bastaardmortel of kalkmortel.

**Opgelegde vervormingen**

De opgelegde vervorming van een gemetselde wand is afhankelijk van de omgevingsfactoren, de mechanische eigenschappen van het metselwerk (kleur, vochtexpansie, krimp) en van de uitvoeringsmethod.

De kleur van de steen bepaalt de absorptiefactor  $\alpha$  die een invloed heeft op de temperatuurstijging in het metselwerk:

$$\theta_{wall,max} = \theta_{air,max} + \theta_{colour+orientation} \tag{1}$$

met:

- $\theta_{wall,max}$  is de maximumwandtemperatuur
- $\theta_{air,max}$  is de maximumluchttemperatuur
- $\theta_{colour+orientation}$  is de temperatuurstijging in de wand (tabel 4)

- 5 Vochtexpansie van baksteen en krimp van betonsteen en kalkzandsteen [7]
- 6 Krimp van verschillende morteltypen: GGBS = ground granulated blast-furnace slag; AEA = air-entraining agent; MC = masonry cement [7]
- 7 Reductiefactor voor maximumtemperatuur als functie van de wanddikte

Tabel 4 Temperatuurstijging in metselwerk voor verschillende kleuren en oriëntaties

kleur steen	zuid-west	noord-oost
licht gekleurd ( $\alpha \leq 0,2$ )	+18	+0
medium ( $0,2 \leq \alpha < 0,9$ )	+30	+2
donker ( $0,9 \leq \alpha$ )	+42	+4

Bij gebrek aan gedetailleerde informatie kan voor de berekening van de vochtexpansie van de in Nederland geproduceerde bakstenen worden uitgegaan van een waarde van 0,3 mm/m. Aangezien deze vochtexpansie voornamelijk gedurende de eerste maand na productie optreedt (fig. 5), is het gunstig de stenen niet eerder dan 28 dagen na productie te verwerken. Eenzelfde conclusie kan worden getrokken voor de krimp van betonsteen en kalkzandsteen.

Om de krimp van de mortel te beperken, kan worden ingespeeld op de samenstelling van de mortel (fig. 6).

Door de thermische inertie (het vermogen om warmte op te slaan en af te geven) heeft ook de dikte van de metselwerkwand een invloed op de maximumtemperatuur in de wand. Dit wordt verdisconteerd door middel van de volgende reductiefactor  $\rho$  voor de maximumtemperatuur (fig. 7):

$$\rho_{\text{thickness}} = \max \left[ 0,9; \min \left( 1 - \frac{\text{unit width} - 65 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} \cdot 0,1 ; 1,0 \right) \right] \quad (2)$$

Indien de bakstenen ouder zijn dan 28 dagen bij uitvoering, wordt een reductiefactor voor de opgelegde vervorming van 0,70 toegepast. Bij jongere bakstenen is deze factor 0,90. Als het opvoegen meer dan zes maanden na metselen plaatsvindt, mag eveneens een reductiefactor van 0,70 worden toegepast. De grootste waarde van de opgelegde uitzetting van de gemetselde wand  $\epsilon^+$  kan dan als volgt worden bepaald:

$$\epsilon_{\text{th}} = \alpha_{\text{th}} \cdot (\theta_{\text{max,w}} - \theta_{\text{execution}}) \cdot \rho_{\text{thickness}} \quad (3)$$

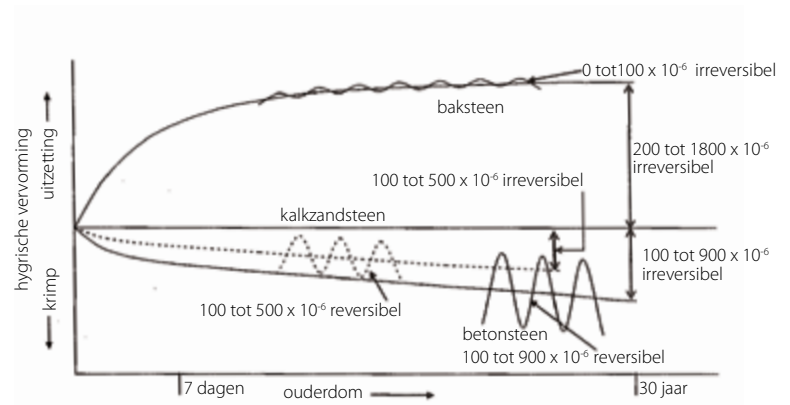
$$\epsilon^+ = \epsilon_{\text{hygr}} + \epsilon_{\text{th}} \quad (4)$$

met:

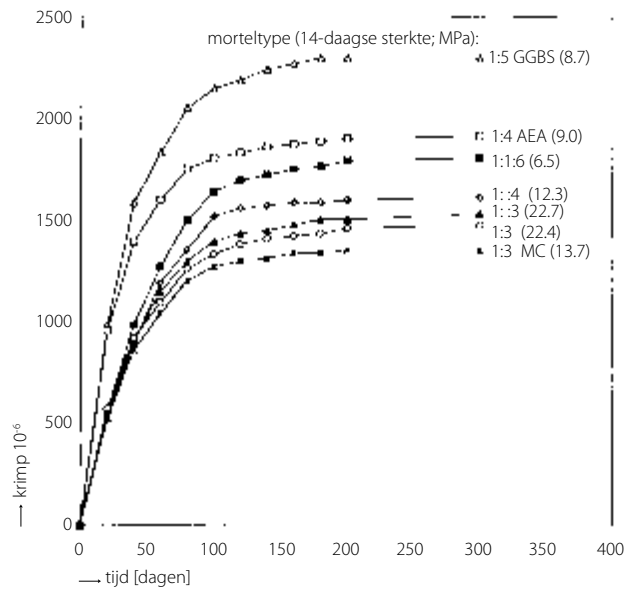
- $\epsilon_{\text{hygr}}$  is de vochtexpansie
- $\epsilon_{\text{th}}$  is de thermische uitzetting
- $\theta_{\text{execution}}$  is de luchttemperatuur bij metselen

De grootste waarde van de verkorting is een combinatie van krimp van mortel en steen en thermische verkorting. Uitgaande van een gelijke vervorming van de mortel en de stenen, kan de krimpvervorming  $\epsilon_{\text{shrinkage}}$  van het metselwerk als volgt worden berekend:

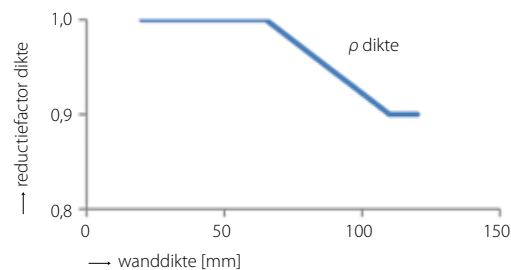
$$\epsilon_{\text{shrinkage}} = \epsilon_{\text{s,m}} = \epsilon_1 - \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{1 + \frac{E_1 \cdot h_b}{E_2 \cdot h_j}} \quad (5)$$



5

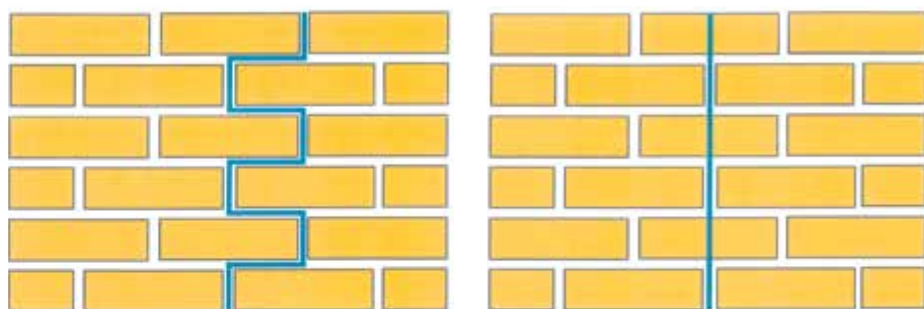


6

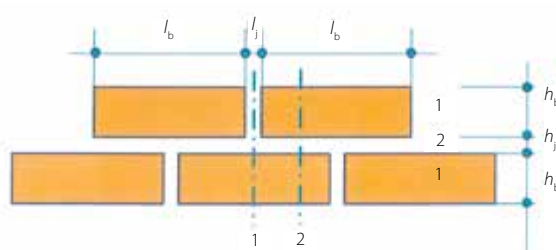


7





8



9

met:

$\epsilon_{s,m}$  is de krimprek van het metselwerk

$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_b \cdot l_b + \epsilon_j \cdot l_j}{l_b + l_j}$  is de krimprek rek in de horizontale laag met stenen plus stootvoegen

$\epsilon_2 = \epsilon_j$  is de krimprek in de lintvoegen

$\epsilon_b$  is de krimprek van de stenen

$\epsilon_j$  is de krimprek van de mortel

$E_1 = \frac{E_b \cdot E_m \cdot (l_b + l_j)}{E_m \cdot l_b + E_j \cdot l_j}$  is de E-modulus van de horizontale laag met stenen plus stootvoegen

$E_2 = E_m$  is de E-modulus van de mortelvoeg

$E_b$  is de E-modulus van de steen

$E_j$  is de E-modulus van de mortel

Door de krimprek te combineren met de verkorting ten gevolge van de temperatuurdaling, wordt de totale verkorting  $\epsilon^-$  berekend:

$$\epsilon_{th} = \alpha_{th} \cdot (\theta_{execution} - \theta_{max,w}) \cdot \rho_{thickness} \quad (6)$$

$$\epsilon^+ = \epsilon_{shrinkage} + \epsilon_{th} \quad (7)$$

### Metselwerkeigenschappen

De treksterkte en de elasticiteitsmodulus van de stenen moeten worden bepaald in overleg met de fabrikant. Voor de mortel kunnen, als meetresultaten ontbreken, de waarden uit tabel 5 worden gebruikt. Hierbij is een reductiefactor opgenomen om rekening te houden met het feit dat een deel van de krimp reeds is opgetreden voordat verharding optreedt. De thermische uitzettingscoëfficiënt van metselwerk is bepaald in EC6.

De treksterkte van het metselwerk kan worden berekend uitgaande van de mechanische eigenschappen en afmetingen van de stenen en de mortel. Hierbij worden twee scheurpatronen beschouwd: een trapvormige scheur in de voegen en een verticale scheur door de voegen en de stenen heen (fig. 8).

Voor het trapvormige scheurpatroon is de treksterkte van het metselwerk  $f_{t2,c}$  gelijk aan:

$$f_{t2,c} = \frac{(f_{vk0} + \mu \cdot \sigma_d) \cdot u + (h_b \cdot f_{vk0} \cdot \varphi_{headjoint})}{h_b + h_j} \quad (8)$$

met:

$f_{vk0}$  is de karakteristieke waarde van de initiële schuifsterkte

$\mu$  is de wrijvingscoëfficiënt tussen steen en mortel

$\sigma_d$  is de drukspanning op halve wandhoogte loodrecht op de lintvoeg ten gevolge van het eigen gewicht van de wand

$u$  is de overlappingslengte van de bakstenen

$h_b$  is de hoogte van de stenen (fig. 9)

$h_j$  is de voegdikte (fig. 9)

$\varphi_{headjoint}$  is de reductiefactor voor onvolledig gevulde stootvoegen  
 = 0 voor open stootvoegen bij lijmwerk  
 = 0,5 voor metselwerk (stootvoegen zijn nooit volledig gevuld)

Tabel 5 Morteleigenschappen

	MPa	mm/m	MPa	krimp	belemmering
cementmortel					
M10	12 000	0,80	0,30	0,50	0,90
M5	10 200	0,80	0,25	0,50	0,80
bastaardmortel					
M5	6000	0,70	0,20	0,50	0,90
kalkmortel					
M5	3600	0,60	0,15	0,50	0,70
lijmmortel					
M15	15 000	2,00	0,50	0,60	1,00
doorstrijkmortel/dunmortel					
M10	12 000	0,80	0,30	0,50	0,90
M5	10 200	0,80	0,25	0,50	0,80

Voor verhinderde opgelegde verkorting wordt gebruikgemaakt van het analytisch model van Peter Schubert (fig. 11) [2]:

$$L_2 = L_R \leq -L_n \left( 1 - \frac{\beta_{Z,mw}}{E_{Z,mw} \cdot \text{ges } \varepsilon \cdot R} \right) \cdot \frac{h_w}{0,23} \quad (12)$$

met:

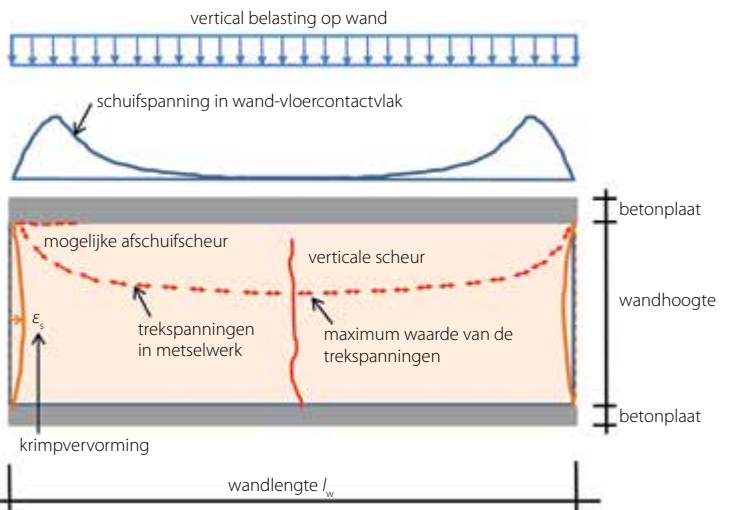
- $L_2$  is de dilatatieafstand bij verkorting
- $\beta_{Z,mw}$  is de treksterkte van het metselwerk in horizontale richting
- $E_{Z,mw}$  is de E-modulus van het metselwerk in horizontale richting
- ges  $\varepsilon$  is de rek in het metselwerk door krimp en temperatuur daling
- $R$  is de verhinderingsfactor aan de voet van de wand (bij volledige verhinderings:  $R=1,0$ )
- $h_w$  is de wandhoogte

Deze formule is slechts van toepassing voor een lengte-hoogte-verhouding kleiner dan 5. Om deze formule te kunnen toepassen, moeten de treksterkte en de E-modulus in horizontale richting als volgt worden berekend:

$$E_1 = \frac{E_j \cdot (\varphi \cdot h_b + 2h_j) + E_b \cdot h_b}{2(h_b + h_j)} \quad (13)$$

$$E_2 = \frac{E_j \cdot h_j + E_b \cdot h_b}{h_b + h_j} \quad (14)$$

$$E_m = \frac{E_1 \cdot E_2 \cdot (l_b + l_j)}{E_1 \cdot l_b + E_2 \cdot l_j} \quad (15)$$



Bij rechtlijnige scheuren kan de treksterkte van het  $f_{t2,v}$  als volgt worden berekend:

$$h_b \cdot f_{bt} = 2(h_b + h_j) \cdot f_{t2,v} \quad (9)$$

$$f_{t2,v} = \frac{f_{bt}}{2} \cdot \frac{h_b}{h_b + h_j} \quad (10)$$

met:

- $f_{bt}$  is de treksterkte van de stenen evenwijdig met het legvlak
- $h_b$  is de hoogte van de steen
- $h_j$  is de voegdikte

Om de gemiddelde waarde van de treksterkte te bepalen, wordt de kleinste van beide waarden vermenigvuldigd met een factor 1,30.

### Berekening dilatatieafstand

Voor de berekening van de dilatatieafstand moeten twee situaties worden beschouwd: verlenging (dilatatieafstand  $L_1$ ) en verkorting (dilatatieafstand  $L_2$ ). De kleinste van beide waarden is maatgevend.

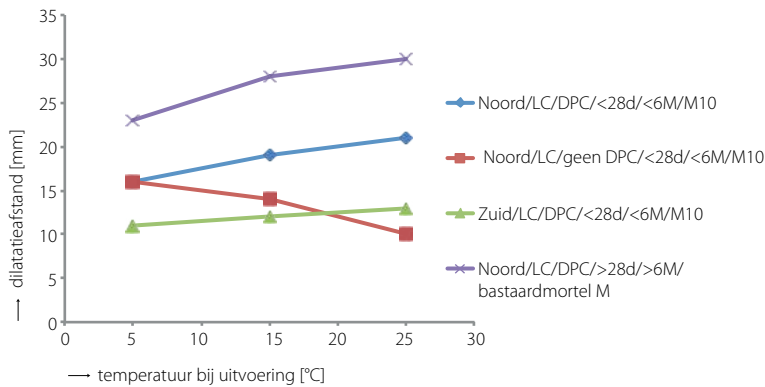
Aangezien de dilatatievoegen de verlenging van het metselwerk mogelijk moeten maken, is de maximaal toelaatbare dilatatieafstand gelijk aan de maximaal toelaatbare variatie van de voegbreedte gedeeld door de verlengingsrek van het metselwerk (fig. 10).

$$L_1 = \frac{\Delta v}{\varepsilon^+} \quad (11)$$

met:

- $L_1$  is de dilatatieafstand bij verlenging
- $\Delta v$  is de toelaatbare variatie van de voegbreedte
- $\varepsilon^+$  is de maximumverlengingsrek

- 12 Berekenende dilatatieafstanden voor diverse situaties:  
 LC = lichtkleurige steen; DPC = met DPC; noDPC = zonder DPC;  
 <28d = ouderdom van de stenen < 28 dagen; <6M = voegwerk  
 in de eerste 6 maanden na metselen; M10 = mortel voor  
 algemeen gebruik met druksterkteklasse M10



12

met:

- $E_1$  is de E-modulus van doorsnede 1 in fig. 9  
 $E_2$  is de E-modulus van doorsnede 2 in fig. 9  
 $E_m$  is de E-modulus van het metselwerk in horizontale richting  
 $E_b$  is de E-modulus van de steen  
 $E_j$  is de E-modulus van de mortel  
 $h_b$  is de hoogte van de stenen  
 $h_j$  is de voegdikte  
 $l_b$  is de lengte van de stenen  
 $l_j$  is de dikte van de stootvoegen  
 $\phi$  is de reductiefactor voor imperfecte hechting in de stootvoegen  
 $\phi = 0$  voor open stootvoegen  
 $\phi = 0,5$  voor gevulde stootvoegen

### Voorbeeld

Een ongewapende metselwerkwand van 3 m hoog wordt gebouwd op een vochtwerende DPC-laag en heeft de volgende karakteristieken:

- bakstenen met lichte kleur
- afmetingen stenen:  $210 \times 100 \times 50 \text{ mm}^3$  ( $l \times b \times h$ )
- metselmortel M10
- noordelijke oriëntatie
- stenen meer dan 28 dagen oud bij verwerking
- opvoegen tijdens metselen (doorstrijken)
- uiterste buitentemperaturen:  $-10 \text{ °C}$  en  $+35 \text{ °C}$
- breedte dilatatievoeg: 12 mm

Indien de wand wordt gemetseld in de zomer met een buitentemperatuur  $\theta_{\text{execution}} = 25 \text{ °C}$ , is de maximale dilatatieafstand, berekend met de nieuwe ontwerpmethod, gelijk aan 21 mm. De resultaten voor deze (blauwe lijn) en andere omstandigheden en materialen zijn weergegeven in figuur 12. Een nadere uitwerking van dit voorbeeld staat op [www.cementonline.nl](http://www.cementonline.nl).

### Conclusies

De voorgestelde ontwerpmethod voor de bepaling van de dilatatieafstanden bij gemetselde gevels maakt het mogelijk minder dilatatievoegen te voorzien ten opzichte van de eisen die in EC6 met nationale bijlage worden gesteld. De ontwerpmethod is ontwikkeld in samenwerking met de bedrijven Bekaert, MBI, Weber-Beamix, Wienerberger en Jordahl. In een volgend artikel zal worden beschreven hoe de dilatatieafstanden kunnen worden bepaald bij toepassing van lintvoegwapening. ☒

### LITERATUUR

- 1 Martens, D.R.W., New Method for determining spacing of movement joints in solid unreinforced veneer walls, 16th IB2MaC, Padua 2016.
- 2 Schubert, P., Zur rissfreien Länge von nichttragenden Mauerwerk-wänden. *Mauerwerk-Kalender* 13, Ernst & Sohn, Berlin, 1988, pp. 473-488.
- 3 NBN B24-401: Uitvoering van metselwerk.
- 4 CUR-Aanbeveling 82: Beheersing van scheurvorming in steenconstructies.
- 5 EN 1996-2 Eurocode 6, 2006 – Design of Masonry Structures – Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry, Brussels, CEN.
- 6 Martens, D.R.W., Bertram, G., Shear Strength of Clay Brick Masonry including Damp Proof Course, 14th IB2MaC, Sydney 2008.
- 7 Brooks, J.J., Concrete and Masonry Movements, Elsevier, Oxford, 2015.
- 8 Think Brick Australia, Manual 7, Design of Clay Masonry for Serviceability, October 2009.

### OVERIGE BRONNEN

- 1 BDRI, 1979, Design note 1D.
- 2 BIA, 1991, Technical Notes on Brick Construction 18A, Movement Design and detailing of movement joints Part II, 1991.
- 3 Brameshuber, W., Schubert, P., Schmidt, U., Hannawald J., Rissfreie Wandlänge von Porenbetonmauerwerk. *Mauerwerk* 10, 2006, Heft 4.

### Uitwerking voorbeeld

Het voorbeeld uit dit artikel is verder uitgewerkt op [www.cementonline.nl](http://www.cementonline.nl).

